

発破掘削に伴う振動と騒音対策について

静岡県土木施工管理技士会 島田地区

共和建設株式会社

工務部 佐々木 竜

1. 工事目的

一般県道静岡焼津線は、台風26号に伴う豪雨によって、當日トンネルから北北東約150mで道路を横断する段差亀裂が発生した。

この道路が被災したことにより、焼津方面への通行が遮断されたため通学・通勤など住民に多くの影響を及ぼした。

今回の被災箇所に対し、現道復旧を計画したが、通行止めとなっている箇所は、被災箇所以外にも今後被災する恐れのある脆弱な斜面が存在する。

こうしたことから、今後の維持管理の軽減と道路利用者の安全を確保するため、災害関連事業により計画された、被災箇所および脆弱斜面を迂回するトンネル(905m)の工事である。

2. 工事概要

工 事 名 : 平成26年度 静岡焼津線 (仮) 浜当目トンネル

工事個所 : 焼津市浜当目地内

工 期 : 平成27年3月12日から平成29年3月17日限り

発 注 者 : 静岡県 島田土木事務所

請 負 者 : 戸田・共和 特定建設工事共同企業体

工事内訳 : 施工延長1050m

トンネル工 (NATM工法) 905m

掘削断面 $A=56.0\text{m}^2$ (標準部) 74.9m^2 (拡幅部)

掘削土量 $55,200\text{m}^3$ インバート $L=404\text{m}$ 覆工コンクリート $V=6920\text{m}^3$

坑門工2基

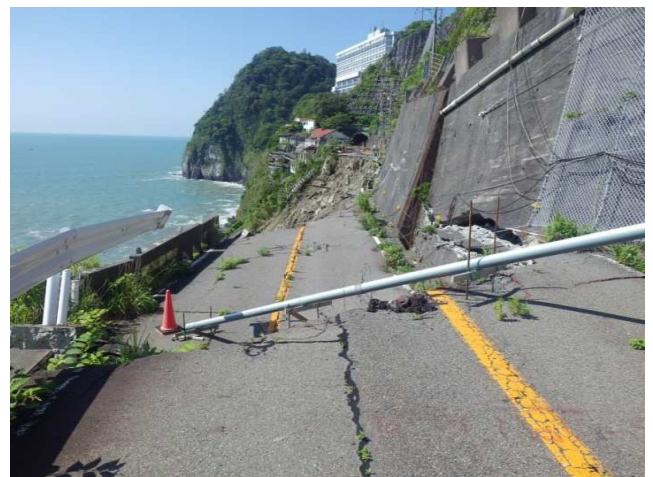
谷止工1基

法面工一式・大型ブロック積み工一式・道路土工一式・道路改良工一式

図-1 位置図



写真-1 現道崩落状況



3. 地質概要

浜当目トンネルの位置する大崩海岸周辺は、地質構造上、西南日本外帯とフォッサマグナとの交差会合部に位置し、当該地域には、新第三期の高草山層群、大崩累層が広く露出する地域であり、その構成岩石種は主に水中～陸上に堆積したアルカリ玄武岩、粗面安山岩からなる。

トンネル周辺に分布する地層は、新第三紀の高草山層群大崩累層に属する凝灰角礫岩、枕状溶岩（主に玄武岩）、塊状溶岩（主に玄武岩）、貫入岩（玄武岩～安山岩～粗面岩）であり、その上を第四紀完新世の崖錐堆積物が覆う。（図-3参照）

起点側の坑口付近には硬質の塊状溶岩（玄武岩質）が分布している、硬質で緻密であるが、弾性波速度の低下が見受けられ、亀裂が多く、亀裂への粘土流入など、開口した亀裂も認められる、また終点側坑口付近にも同様に硬質の塊状溶岩が分布し、強度は150MN/m²を超えるものが出現する。

トンネル中間部には主に枕状溶岩及び凝灰角礫岩が分布しており、破碎の影響を受けた劣化帯と硬質層が繰り返し出現する部分や、硬質の玄武岩～安山岩の貫入岩も認められる。

図-2 全体平面図

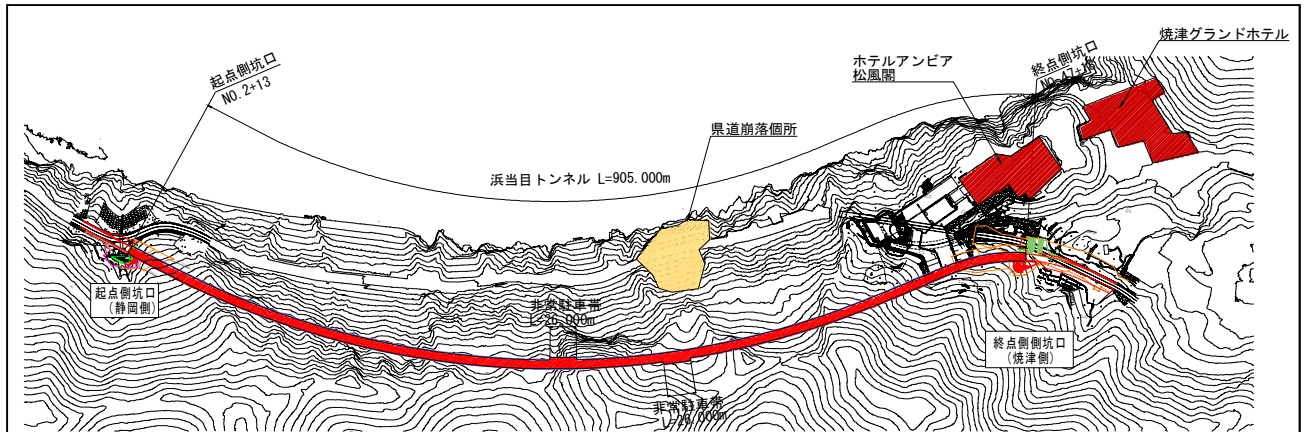
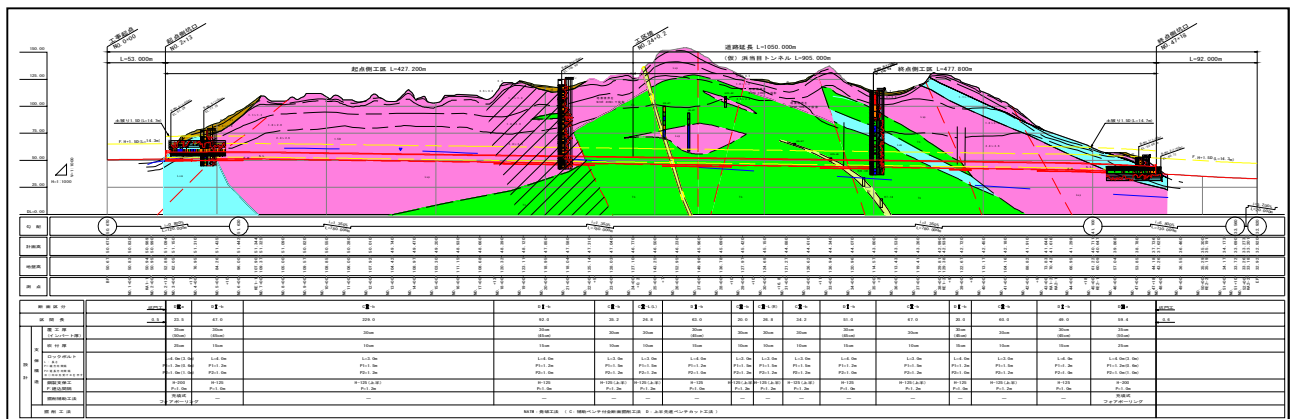


図-3 地質縦断面図



地質推定断面図

a	人工物	対策工、道路等の人工構造物	
		コンクリート等	
新第三紀前期中新世	崖錐	土砂礫	表層に分布し、谷で厚くなる未固結の土砂礫である。成因は風化、土砂の再移動によって形成される。地すべり付近では、厚くなる。
	Dy	貫入岩（玄武岩～安山岩～粗面岩）	地層に非調和に入り込む溶岩の貫入岩である。岩質は玄武岩～安山岩～粗面岩があり、塊状硬質で亀裂が発達する。
	Lvm	塊状溶岩（主に玄武岩）	トンネル起点側に分布する塊状の玄武岩溶岩である。最も硬質かつ塊状溶岩であるが、溶岩内には亀裂が発達する。
	Lvp	枕状溶岩（主に玄武岩）	トンネル計画区間の全体に分布すると推定される枕状玄武岩溶岩である。やや硬質な溶岩であるが、溶岩内には亀裂が発達する。亀裂は、冷却節理、枕の境界面の場合がある。また、角礫化している場合もある。
	Tb	凝灰角礫岩	角礫溶岩の周囲を火山灰や砂礫が埋め、全体として固結した堆積物である。塊状軟岩となり、通常は亀裂が少ない。溶岩の水冷破碎、斜面における2次堆積によって形成される。

4. 施工上の課題

終点側（焼津側）坑口付近には、2軒の観光ホテルやその付帯施設である高さ30mの立体駐車場、結婚式場、ボックスカルバート、各種擁壁、昭和9年に建造した既設の道路トンネルなど、多くの構造物が存在していて、更にこの立体駐車場と擁壁の直下を新設トンネルが通過する線形となっていた。

両ホテルは、夜間の宿泊は勿論、昼間でも昼食時の料亭での会食、会議室での会議や研修、大ホールでのコンサートやディナーショーなどのイベントが数多く開催され、季節、曜日を問わず、多くのお客様が大型バスを連ねて訪れる場所であり、そのため工事の計画段階から発注者とホテル側とで協議が進められ、「トンネル工事によりホテルの運営に支障をきたさないように留意する」との覚書まで交わされた。

このことから、ホテルへの影響が大きいと思われる発破掘削時の振動および騒音、並びにブレーカを使用した貫通掘削時の騒音を抑制し、ホテルの運営に支障をきたさないようにすることが当現場での最大の課題であった。

また、当初は両側からの掘削予定であったが、上記の理由なども重なって、静岡側からのみの掘削となり、狭小なヤードにブリ置き場、濁水プラント、生コンプラントなどの仮設をどう配置するかは課題をクリアしなければならなかった。

5. 課題に対する対策の検討及び実施

5.1 振動抑制対策の決定と振動計測管理

まず発破振動管理値1.0cm/S「火薬学会発破専門部会による発破振動の規制の提言より」を設定し、ホテルへの影響予測を行った結果をもとに、※電子遅延式電気雷管(EDD雷管)の使用を決定、ホテルへの発破振動及び騒音の影響を確認するため、各所に計測管理用の機器を設置し、発破毎に計測値を把握してホテルへの影響を確認しながら掘削を進めた。

(表-1、図-2参照)

表-1 対象物別の計測管理一覧

	計測項目	計測方法	計測頻度
立体駐車場	振動	振動速度計	毎発破
ホテル客室	振動 騒音	振動速度計 騒音計	毎発破
各構造物 (立体駐車場含む)	変位	トータルステーション	1回/日

図-3 計測管理平面図

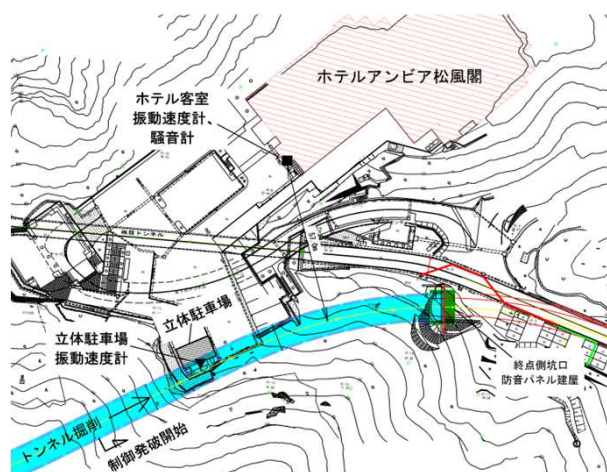
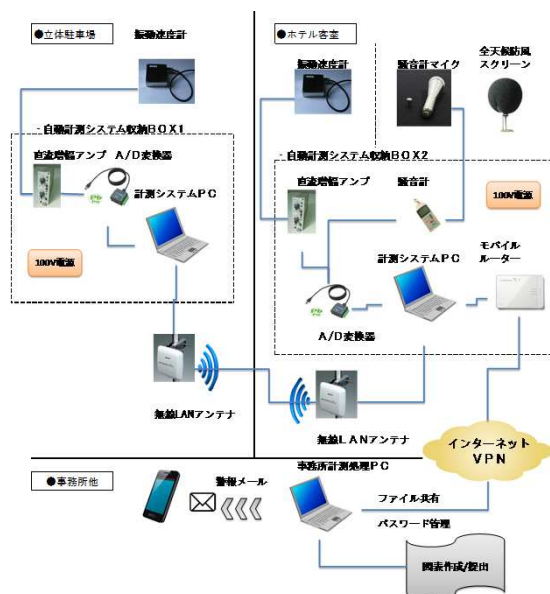


写真-2 計測実施状況(ホテル客室)



図-2 振動騒音計測システム概要図



立体駐車場やホテルの客室には、振動速度計、騒音計を設置し、発破の揺れを検知すると自動で測定し、インターネット回線を経由して6km離れた現場事務所までデータを送信するシステムを構築した。

(写真-2・図-3参照)

※EDD雷管は、遅延手段にICを応用した電氣的タイマーを用い、極めて高い秒時精度を可能とした高性能電気雷管で、設定された起爆秒時に対して、±1ms以内の秒時精度を持っている。

また、EDD雷管は一般に使用されるDS雷管やMS雷管と同じ電気雷管の一種であり、許可申請や取扱い方法などの管理面での容易さもあり、他の遅延雷管に比べて優位であることから採用を決定した。

5. 2発破振動測定結果

5. 2. 1EDD雷管の効果確認

立体駐車場直下より約60m手前から振動速度の計測を開始、計測開始直後は振動速度計の数値が少なかったが、立体駐車場に近づくに従って徐々に数値が上昇し、47.2m手前では、芯抜き（瞬発）での最大振動速度が0.81cm/sと、目標値の1.0cm/sに近づいた。（図-4）そのため翌朝からEDD雷管に切り替えて発破した結果が図-5である。総薬量や離隔距離に大きな差はないが、EDDによる制御発破により、芯抜き発破時における振動速度の低減効果が大きいことがわかる。

図-4 通常発破での振動速度（TD770.2m）

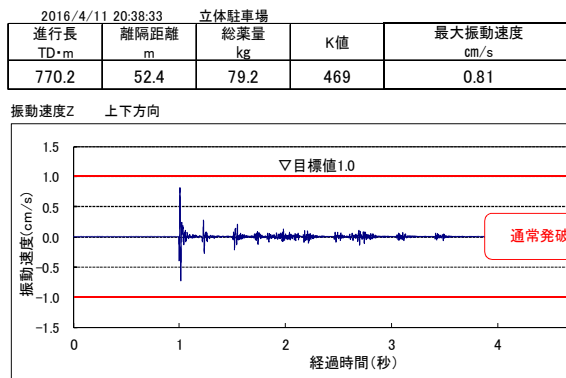
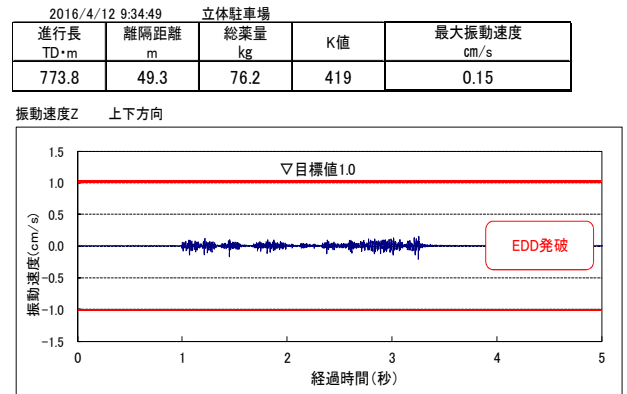


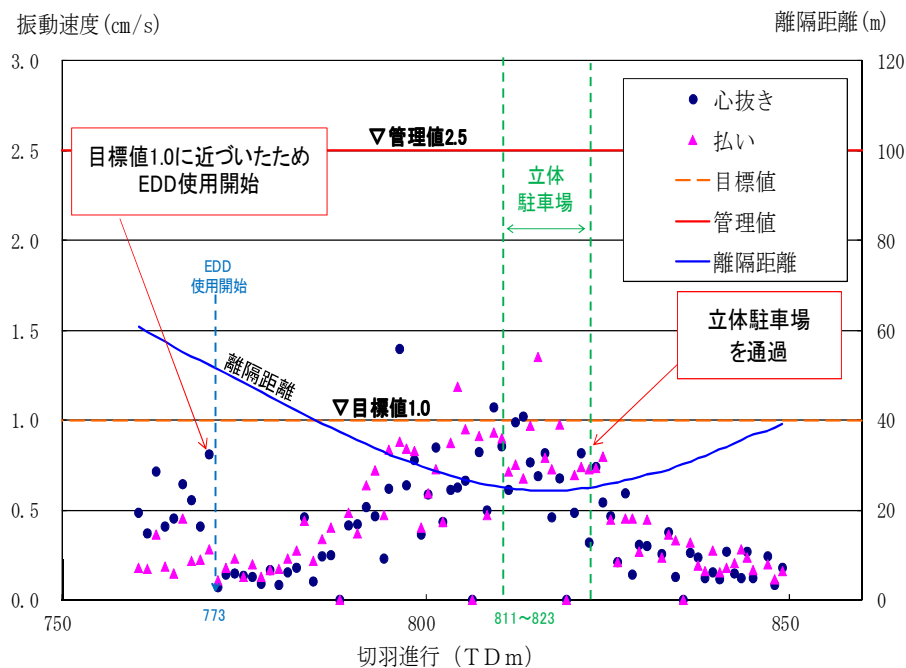
図-5 EDD発破での振動速度（TD773.8m）



5. 2. 2発破振動速度の測定結果

EDD雷管に切り替え後、切羽と立体駐車場との離隔距離が縮むにつれ、振動速度の最大値も目標である1.0cm/sに近づいてきた、しかし稀に目標値を超過した時もあったが、管理値の2.5cm/sは大きく下回り、ほぼ目標値以内で立体駐車場直下を通過することができた。（図-6参照）

図-6 立体駐車場における発破振動速度推移図



5.3 トンネル貫通時の騒音低減対策

5.3.1 施工方法の検討

トンネル貫通部は軟岩および硬岩の出現が予想され、大型ブレイカによる掘削となり、騒音の環境基準値は満足するものの、ホテルに影響のある騒音の発生が想定された。事前の坑口部法面掘削施工時には軟岩が出現し、大型ブレイカにて岩掘削を行ったが、その時はホテルとの協議の末、宿泊客出発後の午前10時から昼食客が来場する11時15分までの1時間15分にブレイカ作業を限定したため、施工は可能であったが多大な時間を要することになった。

また、今回の貫通時の施工ではトンネル掘削サイクルの連続施工が必須であり、時間制限による施工によって解決することができなかったため、別途、防音対策を実施する必要がある。

トンネル坑口部の騒音に対しては、

- ① トンネル貫通掘削時のブレイカ騒音
- ② 貫通後インバート掘削時のブレイカ騒音

の2点に重点をおいて、坑口部からの騒音を低減する対策を検討した。（表-2参照）

表-2 坑口防音対策比較検討表

	① 防音パネル建屋	② 防音ハウス	③ 改良盛土+シェルター+防音扉
概要	・枠組み足場に防音パネルを取り付けた「防音建屋」で坑口部を覆う	・坑口部を囲う最小限の「防音ハウス」を設置	・事前に改良盛土を施工し、その中を掘削することにより貫通時の騒音を抑制 シェルター+防音扉で貫通後のインバート騒音に対応
施工順序	防音建屋設置→トンネル貫通→インバート施工→防音建屋解体→坑門工	防音ハウス設置→トンネル貫通→インバート施工→防音ハウス解体→坑門工	改良盛土→トンネル掘削（最終支保工）→シェルター部支保工→改良盛土撤去→防音扉設置→インバート施工→シェルター撤去→坑門工
縦断面図			
防音効果	① 貫通時の騒音対策 → 防音建屋（-15dB） ② 貫通後の騒音対策 → 防音建屋（-15dB） ○	① 貫通時の騒音対策→防音ハウス（-25dB） ② 貫通後の騒音対策→防音ハウス（-25dB） ◎	① 貫通時の騒音対策 → 改良盛土 ② 貫通後の騒音対策 → シェルター+防音扉 ◎
概算金額	・枠組足場130万+防音パネル160万= 直工290万 ◎	・ハウス(Aタイプ) 直工2,500万+基礎100万= 直工 2,600万 △	・盛土800万+シェルター350万+防音扉150万= 直工1,300万 △
工程	・枠組足場5日+防音パネル5日= 設置 10日 ・足場撤去2日+パネル撤去2日= 撤去 4日 ○	・基礎10日+建方15日 = 設置 25日 ・解体13日+基礎解体 5日 = 撤去 18日 △	・盛土 10日+シェルター 2日+防音扉 2日=設置 14日 ・盛土撤去 4日+シェルター撤去1日+防音扉撤去1日=撤去6日 ○
施工性	・設置撤去が容易 ・法面と防音パネルの隙間の塞ぎ方検討必要 ○	・設置撤去に手間がかかるが、設置後は出入口（電動シャッター）の開閉や維持管理が容易 ・法面と防音ハウスの隙間の塞ぎ方検討必要 ○	・盛土施工時、盛土撤去時に大型重機が必要で大掛かりになる。 ・ダンブでの運搬が発生し、一般車通行に支障 △
まとめ	・コストが安く、設置撤去が容易 ・敷地境界での騒音基準値は満足できる	・コストが高く、設置撤去に日数が必要 ・基礎撤去時に騒音発生	・防音効果は高いが、盛土設置撤去に手間がかかる（多少の騒音発生） ・シェルター撤去時に多少の騒音有
総合評価	◎	△	○

5.3.2 騒音低減対策の実施とその効果

坑口部の騒音低減対策には、比較検討の結果、

- ① 設置から撤去までの期間が短いこと
- ② 対策にかかるコストを最小限に抑えること
- ③ ホテルのお客様から作業を見えなくすること

を考慮し、最も容易で費用対効果の大きい「防音パネル建屋」を設置することとした。これは建物の解体工事等で使用されるビティ足場に防音パネルを設置した防音設備を応用したものである。外壁の防音パネルは容易であったが、屋根部分はスパンが長いので、屋根の防音パネルをどうやって設置するかが問題であった。そこで上部にトラス部材を使用し、前面のビティ足場と背面のコンクリート法枠でトラス部材を支持することにより、屋根部分にまで防音パネルを設置することが可能となり、坑口全体を囲うことができた。

この方法により、大型ブレイカ掘削により発生する騒音を15dB低減することが可能となり、ホテルへの影響を最小限にすることができた。

写真-3 坑口部防音パネル建屋（前面）



写真-4 坑口部防音パネル建屋（上面）



6. 終わりに

今回の施工においては、ホテルや地元からの苦情もなく、施工サイクルも円滑に進み無事トンネル掘削を完了できました。

今回記述したホテルへの振動騒音や施工ヤードの工夫ににおけるハード面での対策以外に、毎週ホテルとの打ち合わせ、発破の都度ホテルへの連絡や立体駐車場の車両誘導の実施、来客時の宿泊や昼食、慰労会でのホテル利用、地元への説明会及び見学会など、ソフト面の対策も合わせて実施し、常にホテル側や地域住民とコミュニケーションをとりながら施工を行った結果が、今回の成功に大きく影響したと考えております。

また騒音振動の問題は、ただ規制値をクリアすればいいという問題ではなく、相手方の担当者や関係者がどう感じているかを察知して対応することが重要であると実感しました。

工事中はこの他にも種々の問題が発生しましたが、発注者である島田土木事務所の職員様はじめ、協力業者、両ホテル、地域住民多々諸々のご協力もあり、無事完成することができたことを深く感謝いたします。